Journal of Plant Protection
Vol. 35, No. 2, Summer 2021, P. 265-278

نشریه حفاظت گیاهان (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، ص. ۲۷۸-۲۶۵

مقاله پژوهشی

تأثیر الگو و حجم پاشش بر کارایی هالوکسی‌فوپ-آر-متیل علیه جودره (*Hordeum spontaneum*)

اکبر علی وردی[۱]*- سید مسعود برقعی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۵

چکیده

در آزمایشی به صورت دُز-پاسخ، کارآمدی نازل‌های تک بادبزنه و دو بادبزنه ۲۰۲۰ و ۳۰۷۰، هر کدام با شماره‌های ۱۱۰۰۱۵، ۱۱۰۰۲، ۱۱۰۰۲۵، ۱۱۰۰۳، ۱۱۰۰۴ و ۱۱۰۰۵ بر کارایی هالوکسی فوپ-آر-متیل علیه جودره بررسی شد. همزمان، میزان خیس‌شدگی کاغذهای حساس به رطوبت قرار گرفته در سه وضعیت (کاغذ ۱ بطور افقی بر روی سطح زمین و کاغذهای ۲ و ۳ بطور عمودی به ترتیب روبرو و پشت به مسیر حرکت نازل) با تیمارهای مذکور بررسی شد. تمامی انواع نازل‌ها با شماره‌های ۱۱۰۰۳، ۱۱۰۰۴ و ۱۱۰۰۵ کاغذ ۱ را کاملاً خیس کردند. نازل دو بادبزنه ۳۰۷۰ با شماره ۱۱۰۰۱۵ فقط ۷/۳ درصد کاغذ ۱ را خیس کرد. نازل‌های تک بادبزنه و دو بادبزنه ۲۰۲۰ با شماره‌های ۱۱۰۰۳، ۱۱۰۰۴ و ۱۱۰۰۵ کاغذ ۲ را کاملاً خیس کرد. کمترین میزان خیس‌شدگی کاغذ ۲ با نازل تک بادبزنه با شماره‌های ۱۱۰۰۱۵ و ۱۱۰۰۲ حاصل شد (۱۹-۲۴ درصد). نازل‌های دو بابزنه ۲۰۲۰ و ۳۰۷۰ با شماره‌های ۱۱۰۰۴ و ۱۱۰۰۵ کاغذ ۳ را کاملاً خیس کردند. نازل تک بادبزنه اصلاً نتوانست کاغذ ۳ را خیس کند. بجز با نازل تک بادبزنه در کاغذ ۳، در تمامی انواع نازل‌ها، با افزایش شماره نازل سطح بیشتری از کاغذها خیس شد. براساس کارایی هالوکسی‌فوپ-آر-متیل، کارآمدی نازل‌ها به صورت دو بادبزنه ۲۰۲۰ > تک بادبزنه = دو بادبزنه ۳۰۷۰ بود. اگرچه افزایش شماره نازل سبب افزایش خیس‌شدگی کاغذهای حساس به رطوبت شد، ولی سبب افزایش مقدار ED_{50}، یعنی کاهش کارایی هالوکسی‌فوپ-آر-متیل، شد. در بین تیمارها، کمترین مقدار ED_{50} با نازل دو بادبزنه ۲۰۲۰ با شماره ۱۱۰۰۱۵ مشاهده شد (۹/۳۴ گرم هالوکسی‌فوپ-آر-متیل در هکتار).

واژه‌های کلیدی: اندازه قطره، باریک برگ‌کش، شماره نازل، نشست پاشش، نوع نازل

مقدمه

برخی از علف‌کش‌ها باید پس از رقیق شدن در آب بر روی شاخ و برگ علف‌های هرز پاشیده شوند. از آنجایی که مقدار آب سم‌پاشی (حجم پاشش) می‌تواند کارایی علف‌کش‌های شاخ و برگ مصرف را تحت تاثیر قرار دهد؛ لذا، همواره انتخاب حجم پاشش مناسب به عنوان روشی ساده، ارزان و در دسترس برای بهینه‌سازی کارایی چنین علف‌کش‌هایی مطرح بوده است. در بررسی منابعی که نوچی (۲۳) روی ۱۹۶ علف‌کش انجام داده است، کارایی ۱۳۳ علف‌کش تحت تاثیر حجم پاشش قرار گرفته است. از این ۱۳۳ علف‌کش، کارایی ۶۳ علف‌کش با کاهش حجم پاشش و کارایی ۷۰ علف‌کش با افزایش حجم پاشش افزایش یافته است. از این تاریخ به بعد، همچنان تاثیر متفاوت حجم پاشش بر کارایی علف‌کش‌ها در منابع علمی به چشم می‌رسد که حاکی از رفتار متفاوت علف‌کش‌های شاخ و برگ مصرف در برابر حجم‌های پاشش مختلف است. به طوری که در برخی مطالعات، کاهش حجم پاشش باعث افزایش کارایی علف‌کش شده است. برای مثال، گلایفوسیت (۲۴، ۲۸، ۳۴ و ۴۱)، آسی‌فلورفن (۳۷)، فورام‌سولفورون + بنتازون + توفوردی (۲۵)، سیتوکسیدیم (۲۷)، ایمازاپیک، ایمازتاپیر (۱۷) و کلودینافوپ‌پروپارژیل (۱۵ و ۲۹). در برخی مطالعات، تغییر در حجم پاشش تاثیری بر کارایی علف‌کش نداشته است. برای مثال، لاکتوفن (۷، ۱۳ و ۱۴)، آیوکسینیل + دیکلروپروپ + ام‌سی‌پی‌اِ (۳۹)، بنتازون (۱۴ و ۳۸)، ایمازاموکس (۳۳)، گلوفوسینات‌آمونیوم (۳۰)، فنوکساپروپ-پی-اتیل (۱۵)، کلرانسولام‌متیل (۳۸)، ریم‌سولفورون (۱۶)، فلوآزیفوپ-پی-بوتیل (۱۲،

---

۱ و ۲- به‌ترتیب استادیار و کارشناسی ارشد اگروتکنولوژی گرایش علوم علف‌های هرز، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: a.aliverdi@basu.ac.ir)
DOI: 10.22067/jpp.2021.67963.1003

۱۳). در برخی مطالعات، افزایش حجم پاشش باعث افزایش کارایی علف‌کش شده است. برای مثال، بروماکسینیل، اکسی‌فلورفن (۳۶)، نیکوسولفورون (۸)، کویزالوفوپ-پی-اتیل، فومسافن (۳۸)، کارفن‌ترازون (۳۳)، ایمازپیر (۳۲)، دایکامبا (۱۰)، توفوردی (۱۲ و ۱۳)، سیکلوکسیدیم (۳) و پاراکوات (۴). گاهی محققان گزارش کرده‌اند که تاثیر حجم پاشش بر کارایی علف‌کش به گونه علف‌هرز نیز بستگی دارد. برای مثال، کارایی هالوکسی‌فوپ-آر-متیل در کنترل سورگوم (*Sorghum bicolor*) تحت تاثیر حجم پاشش قرار می‌گیرد ولی در کنترل دم‌روباهی زرد (*Setaria lutescens*) تحت تاثیر حجم پاشش قرار نمی‌گیرد (۹).

تغییر دادن سرعت حرکت سمپاش و شماره نازل، دو روش ممکن برای تنظیم کردن حجم پاشش در مزرعه است. اگر برای حصول کارایی بهینه از علف‌کشی نیاز به کاربرد حجم‌های پاشش بسیار پایین یا بسیار بالا باشد، اجراپذیری روش اول دچار مشکل خواهد شد. به همین دلیل، روش تغییر دادن شماره نازل همواره روشی اجراپذیرتر به نظر می‌رسد (۲۳). دو یا سه رقم آخر شماره درج شده بر روی بدنه نازل نشان دهنده میزان خروجی آن است. برای مثال، نازل‌ها با شماره‌های ۱۱۰۰۱، ۱۱۰۰۲۵ و ۱۱۰۰۶ به ترتیب دارای خروجی ۰/۱، ۰/۲۵ و ۰/۶ گالُن آمریکایی (حدوداً، ۳/۸ لیتر) در دقیقه در فشار ۴۰ پوند بر اینچ مربع هستند (۲۶). دو یا سه رقم اول شماره درج شده بر روی بدنه نازل نیز نشان دهنده زاویه بین دو لبه ورقه پاشش می‌باشد که در این آزمایش به شکل بادبزن است (جدول ۱).

در کلزا و چغندرقند پاییزه، علف‌های هرز باریک برگ، مثل جودره (*Hordeum spontaneum*)، در مرحله ۳ تا ۴ برگی باید تحت تیمار باریک‌برگ‌کش‌ها، مثل هالوکسی‌فوپ-آر-متیل، قرار بگیرند. در این مرحله رشدی، آنها دارای برگ‌هایی هستند که تقریباً به صورت قائم نسبت به زمین قرار می‌گیرند. وقتی باریک‌برگ‌کش‌ها با کمک نازل یک بادبزنه (شکل ۱) که در حال حاضر رایج‌ترین نوع نازل در دسترس برای اکثر کشاورزان ایرانی است پاشیده شوند، قطرات پاشش که حرکتی عمود بر زمین دارند عمدتاً به صورت اریب به سطح برگ علف‌های هرز باریک برگ برخورد می‌کنند. از این‌رو، به احتمال قوی تعداد زیادی از آنها از روی سطح برگ بر روی سطح خاک پرش کرده و هَدر می‌روند (۲۲). در چنین وضعیتی، هَدر رفتن قطرات پاشش با افزایش سرعت حرکت سمپاش بیشتر نیز خواهد شد. به همین خاطر، در صورتی که حجم پاشش پایین برای کسب کارایی بهتر از علف‌کشی توصیه شده باشد، ایجاد حجم پاشش پایین به روش افزایش سرعت سمپاش اجراپذیر نخواهد بود (۴۰). از این‌رو، باید متوسل به نازل‌هایی با شماره پایین‌تر برای ایجاد حجم‌های پاشش کمتر شد.

تحقیقات قبلی نشان داده است که تغییر دادن جهت پاشش نازل یک بادبزنه از حالت عمودی به حالت غیرعمودی سبب بهبود قابل توجهی در کارایی هالوکسی‌فوپ-اتوکسی‌اتیل (۲۲)، کلودینافوپ‌پروپارژیل، فلوآزیفوپ-پی-بوتیل (۲۱)، هالوکسی‌فوپ-آر-متیل (۳)، ستوکسیدیم و سیکلوکسیدیم (۵) شده است. لذا، اخیراً زاویه‌دهی به پاشش نازل یک بادبزنه به عنوان روشی رایگان برای بهینه‌سازی کارایی باریک‌برگ‌کش‌ها مطرح شده است. بیش از یک دهه است که انواع نازل‌های دو بادبزنه برای کاربرد باریک‌برگ‌کش‌ها در سرعت‌های بالای حرکت سمپاش معرفی و توصیه شده‌اند. این نوع نازل‌ها دو بادبزن با جهت پاشش غیرعمودی نسبت به زمین ایجاد می‌کنند که زاویه بین آنها ممکن است متقارن یا غیرمتقارن باشد که به ترتیب می‌توان به نازل‌های دو بادبزنه ۲۰۲۰ و دو بادبزنه ۷۰۳۰ اشاره کرد (شکل ۱). ایجاد دو پاشش غیرعمودی به وسیله نازل‌های دو بادبزنه امکان برخورد به صورت اریب قطرات پاشش به سطح برگ نسبتاً قائم علف‌های هرز باریک برگ را کاهش خواهد داد. از این‌رو، پَرش قطرات پاشش از سطح برگ آنها به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. همچنین، نتایج تحقیقات قبلی نشان داده است که نازل‌های دو بادبزنه قادرند پشت و روی برگ قائم را به طور بسیار موثری خیس نماید (۹، ۱۱، ۲۲، ۳۱ و ۴۰). به همین دلیل، کارایی اتوفومیست + فن‌مدیفام + دس‌مدیفام (۳۱)، ستوکسیدیم (۱)، کلودینافوپ‌پروپارژیل (۲) پاشیده شده به وسیله نازل دو بادبزنه در مقایسه با نازل یک بادبزنه بالاتر گزارش شده است.

تاکنون، کارآمدی نازل‌های دو بادبزنه متقارن و نامتقارن مورد مقایسه قرار نگرفته بود. از طرفی دیگر، همانطور که در بالا اشاره شد، تاثیر حجم پاشش بر کارایی علف‌کش می‌تواند تحت تاثیر گونه علف‌هرز قرار بگیرد. تاکنون، تاثیر حجم پاشش بر کارایی هالوکسی‌فوپ-آر-متیل در کنترل جودره ارزیابی نشده بود. از این‌رو، این آزمایش قصد داشت تا فضاهای خالی مذکور در علم را پُر کند.

مواد و روش‌ها

آزمایش دُز-پاسخ علف‌کش

در اواخر بهار ۱۳۹۸، بذرهای جودره از محوطه دانشگاه بوعلی سینا همدان که سابقه کاربرد هیچ علف‌کشی را نداشت جمع‌آوری و درون پاک کاغذی تا زمان اجرای آزمایش در محیط اتاق نگهداری شدند. در اواخر تابستان ۱۳۹۸، فقط لِمای (نه پالئا) بذرها به صورت دستی از آنها جدا شد؛ چون قبلاً لِمای بذر جودره به عنوان مانع فیزیکی در جوانه‌زنی آن تشخیص داده شده است (۱۸). پس از ضدعفونی سطحی بذرها با محلول NaClO پنج درصد به مدت پنج دقیقه، از بخش شیاردارشان بر روی یک لایه کاغذ صافی در درون پتری دیش‌هایی با قطر ده سانتی‌متری قرار داده شدند. قبلاً، کاغذ صافی با ده میلی‌لیتر از محلول دو گرم KNO_3 در لیتر به هر یک از پتری دیش‌ها خیس شده بود. پتری دیش‌ها به مدت دو روز در دمای

چهار درجه سانتی‌گراد در تاریکی در درون یخچال و سپس به مدت دو روز در دمای آزمایشگاه در تاریکی نگهداری شدند (۳). سپس، تعداد پنج گیاهچه با طول ساقه‌پوش یک سانتی‌متری در درون گلدان‌های دو لیتری پلاستیکی قهوه‌ای رنگ با مقطع مربعی در عمق یک سانتی‌متری خاک کاشته شدند. تراکم کاشت در گلدان معادل ۱۹۵ بوته در متر مربع بود. خاک مورد استفاده در تهیه بستر به ترتیب دارای نسبت چهار:یک:یک از خاک:ماسه بادی:کود دامی بود. گلدان‌ها به درون گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان منتقل شدند. دو روز پس از کاشت، با اضافه کردن یک سانتی‌متر خاک به محیط کشت، عمق کاشت به دو سانتی‌متر افزایش یافت. هر پنج روز یکبار، گلدان‌ها به طور یکنواخت و یکسان آبیاری شدند.

آزمایش به صورت فاکتوریل (۶ × ۳ × ۷) در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار انجام گرفت. تیمارها شامل هفت مقدار از هالوکسی‌فوپ-آر-متیل (۰، ۱۰/۸، ۲۱/۶، ۴۳/۲، ۶۴/۸، ۸۴/۴ و ۱۰۸ گرم ماده موثره در هکتار (گالانت سوپر ۱۰/۸ درصد امولسیون شونده، کیمیا گوهر خاک، ایران)) بودند که با استفاده از سه نوع نازل (یک بادبزنه، دو بادبزنه ۲۰۲۰ و دو بادبزنه ۳۰۷۰) در شش شماره نازل (۱۱۰۰۱۵ سبز رنگ، ۱۱۰۰۲ زرد رنگ، ۱۱۰۰۲۵ بنفش رنگ، ۱۱۰۰۳ آبی رنگ، ۱۱۰۰۴ قرمز رنگ و ۱۱۰۰۵ قهوه‌ای رنگ) بر روی گیاهچه‌های سه برگی جودره بکار رفتند. تصویر جانبی و کیفیت قطرک‌سازی نازل‌های استفاده شده در این آزمایش در فشار سه بار در جدول ۱ نمایش داده شده است. جنس بخش روزنه خروجی این نازل‌ها سرامیکی بوده و به وسیله شرکت MagnoJet در برزیل تولید می‌شوند. براساس کتابچه راهنمای این نازل‌ها (۲۶)، کیفیت قطرک‌سازی آنها به صورت بسیار ریز (با قطر قطرات بین ۶۱ تا ۱۰۵ میکرومتر)، ریز (با قطر قطرات بین ۱۰۶ تا ۲۳۵ میکرومتر) و متوسط (با قطر قطرات بین ۲۳۶ تا ۳۴۰ میکرومتر) دسته‌بندی شده است که در جدول ۱ مشخص شده‌اند. نام نازل‌ها برگرفته از تعداد و زاویه پاشش بادبزن(ها) نسبت به زمین است. تیمارها در فضای آزاد بیرون گلخانه تحت شرایط دمای هوای ۱۵ الی ۱۸ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۴۸ الی ۵۹ درصد و سرعت وزش باد ۰/۳ متر بر ثانیه اعمال شدند. تیمارها به وسیله سمپاش پشتی فشاری در فشار سه بار اعمال شدند. میزان حجم پاشش ایجاد شده به وسیله شماره نازل‌های مذکور در بالا به ترتیب برابر ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ لیتر آب در هکتار بود. ارتفاع نازل تا سطح خاک گلدان حدوداً نیم متر بود. در روز سمپاشی، گیاهان موجود در درون چهار گلدان از فاصله یک سانتی‌متری سطح خاک برداشت شدند و پس از توزین وزن خشک آنها، به عنوان وزن اولیه گیاهان در زمان اعمال تیمارها در نظر گرفته شدند. پس از سمپاشی، گلدان‌ها مجدداً در درون گلخانه قرار داده شدند.

پس از گذشت چهار هفته از روز سمپاشی، گیاهان درون گلدان‌ها از فاصله یک سانتی‌متری سطح خاک برداشت شدند و وزن خشک آنها پس از دو روز خشک‌کاندن در درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد توزین شد. در زمان برداشت، تنها در کاربرد مقادیر ۱۰/۸، ۲۱/۶ و ۴۳/۲ گرم هالوکسی‌فوپ-آر-متیل در هکتار گیاهان زنده بودند. داده‌های بدست آمده در ابتدا تقسیم بر پنج (تعداد بوته در هر گلدان) و سپس منهای وزن اولیه هر بوته در روز سمپاشی شدند. سپس، پاسخ وزن تک بوته خشک جودره به تیمارها با روش تجزیه و تحلیل رگرسیون غیرخطی با کمک مدل چهار پارامتری لجستیک (معادله ۱) و با استفاده از نرم‌افزار R تخمین زده شد (۳۵). آزمون عدم برازش ($p\text{-value} > ۰/۰۵$) نشان داد که این مدل برازش مناسبی روی داده‌ها فراهم کرد. همچنین، با بررسی نمودار باقی‌مانده‌ها، توزیع مستقل، تصادفی و یکنواخت آنها محرز گردید.

$$Y = \frac{C+(D-C)}{\{1+exp[b(logX-logED)]\}} \quad \text{معادله ۱}$$

در این معادله، Y بیانگر وزن خشک تک بوته جودره، D و C حد مجانب بالا و پایین وزن خشک جودره در مقادیر صفر و بی‌نهایت هالوکسی‌فوپ-آر-متیل، پارامتر ED_{50} بیانگر مقدار هالوکسی‌فوپ-آر-متیل لازم (X) برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک جودره بین حدود بالا و پایین (D و C) است، و b متناسب با شیب منحنی در محدوده‌ی پارامتر ED_{50} می‌باشد. علاوه بر این، پارامتر ED_{90} که بیانگر مقدار هالوکسی‌فوپ-آر-متیل لازم (X) برای کاهش ۹۰ درصدی وزن خشک جودره بین حدود بالا و پایین (D و C) است نیز محاسبه گردید.

آزمایش نشست پاشش علف‌کش

این آزمایش به طور همزمان با آزمایش دُز-پاسخ علف‌کش انجام گرفت، هنگامیکه مقدار ۱۰۸ گرم هالوکسی‌فوپ-آر-متیل در هکتار در حال پاشیده شدن بود. در این آزمایش، از کاغذهای حساس به رطوبت با ابعاد ۷۶ × ۲۶ میلی‌متر استفاده شد. کاغذ حساس به رطوبت دارای یک سطح زرد رنگ است که پس از برخورد قطرات پاشش به آن به رنگ پایدار آبی در می‌آید. کاغذهای حساس به رطوبت در سه وضعیت قرار داده شدند. برای هر وضعیت، آزمایش به صورت فاکتوریل (۳ × ۶) در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد؛ فاکتور نوع نازل در سه سطح (جدول ۱) و فاکتور شماره نازل در شش سطح (جدول ۱).

در شکل ۱ موقعیت قرارگیری کاغذهای حساس به رطوبت روی زمین یا روی سکوی ام.دی.اف روکش‌دار نمایش داده شده است. کاغذ شماره ۱ به طور افقی بر روی سطح زمین در مسیر حرکت نازل، کاغذ شماره ۲ به طور عمودی بر روی سکو و رو به روی مسیر حرکت نازل و کاغذ شماره ۳ به طور عمودی بر روی سکو و پشت به مسیر حرکت نازل قرار داده شد.

جدول ۱- نازل‌های مورد استفاده در آزمایش و کیفیت پاشش آنها در فشار ۳ بار

Table 1- The nozzles used in the study and their atomization quality at 3 bar

شماره نازل (Nozzle size)						نوع نازل
11005	11004	11003	110025	11002	110015	Nozzle type
						یک بادبزنه Single flat fan
M	F	F	F	F	F	
						دو بادبزنه ۲۰۲۰ Twin flat fan 2020
F	F	F	F	F	VF	
						دو بادبزنه ۳۰۷۰ Twin flat fan 3070
F	F	F	F	F	VF	

براساس انجمن مهندسان کشاورزی آمریکا (۶)، کیفیت قطره‌سازی نازل‌های مورد استفاده به صورت بسیار ریز (VF: با قطر قطرات بین ۶۱ تا ۱۰۵ میکرومتر)، ریز (F: با قطر قطرات بین ۱۰۶ تا ۲۳۵ میکرومتر) و متوسط (M: با قطر قطرات بین ۲۳۶ تا ۳۴۰ میکرومتر) دسته‌بندی شده است.

According to the American Society of Agricultural Engineers (6), the atomization quality of the nozzles used is classified as very fine (VF: droplet diameter from 61 to 105 µm), fine (F: droplet diameter from 106 and 235 µm) and medium (M: droplet diameter from 236 and 340 µm).

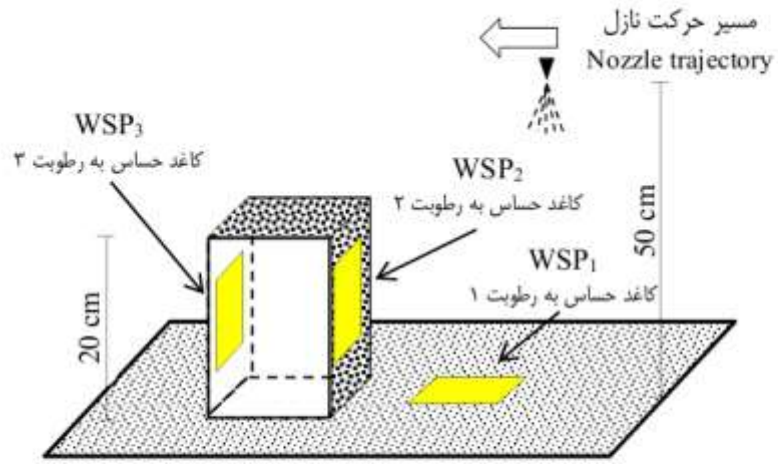
امکان ارزیابی میزان پوشش محلول پاشش حاصل از برخورد عمودی قطرات پاشش با کمک کاغذ حساس به رطوبت شماره ۱ ولی کاغذهای حساس به رطوبت شماره ۲ و ۳ امکان ارزیابی میزان پوشش محلول پاشش حاصل از برخورد غیر عمودی قطرات پاشش را میسر می‌سازد. پس از سمپاشی، کاغذها به طور جداگانه اسکن شدند. تصویر کاغذها در محیط نرم‌افزار Image J نسخه ۱.۴۸ پردازش و درصد مساحت آبی رنگ شده کاغذها ارزیابی و به عنوان درصد پوشش محلول پاشش تجزیه و تحلیل شد. به منظور تجزیه واریانس، مقایسه میانگین داده‌ها که نیازی به تبدیل داده نداشتند و رسم نمودارها از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹.۴ استفاده گردید. میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نشست پاشش علف‌کش

نتایج آنالیز واریانس اثرات ساده نوع نازل و شماره نازل/حجم پاشش بر میزان نشست قطرات پاشش بر کاغذهای حساس به رطوبت قرار گرفته در هر سه موقعیت متفاوت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. همچنین، بین عوامل نوع نازل و شماره نازل نیز اثر متقابل معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲).

در موقعیت شماره ۱، نتایج نشان داد که در هر سه نوع نازل، با افزایش شماره نازل/حجم پاشش سطح بیشتری از کاغذ خیس شد (شکل ۲). در شماره‌های نازل ۱۱۰۰۳ و به بعد در تمامی انواع نازل‌ها، بالاترین میزان خیساندن کاغذ (تقریباً ۱۰۰ درصدی) فراهم شد. کمترین میزان خیس‌شدگی با نازل بادبزنی دو بادبزنه ۳۰۷۰ در شماره ۱۱۰۰۱۵ بدست آمد.



شکل ۱- محل کاغذهای حساس به رطوبت نسبت به مسیر حرکت نازل

Figure 1- Location of moisture-sensitive papers relative to the nozzle trajectory

جدول ۲- تاثیر نوع و شماره نازل بر میزان نشست قطرات پاشش بر کاغذهای حساس به رطوبت قرار گرفته در موقعیت های متفاوتی که در شکل ۱ به تصویر کشیده شده است

Table 2- The effect of nozzle type and nozzle size on the deposition of spray droplets on moisture sensitive paper (WSP) placed in the positions shown in Fig. 1.

منابع تغییر Variable source	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean square		
		کاغذ حساس به رطوبت ۱ WSP_1	کاغذ حساس به رطوبت ۲ WSP_2	کاغذ حساس به رطوبت ۳ WSP_3
شماره نازل Nozzle size	5	8015.98 **	6300.78 **	6466.55 **
نوع نازل Nozzle type	2	412.01 **	5085.79 **	24510.68 **
اثر متقابل Interaction effect	10	167.41 **	342.59 **	1761.28 **
خطا Error	36	16.05	24.11	8.18
Coeff Var		5.21	7.49	6.76

** معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر اساس آزمون دانکن.

** Significant at the 0.05 probability level based on Duncan test.

در شــماره نازل‌های ۱۱۰۰۱۵، ۱۱۰۰۲ و ۱۱۰۰۲۵، میزان پوشش به وسـیله نازل بادبزنی دو بادبزنه ۳۰۷۰ به طور معنی‌داری نسـبت به دو نوع نازل دیگر کمتر بود (۷/۳ درصــــد). دلیل این اختلاف می‌تواند زاویــه ۷۰ درجـه‌ای یکی از بادبزن‌های نازل بادبزنی دو بادبزنه ۳۰۷۰ باشـد. در این بادبزن ۷۰ درجه‌ای، طول مسـیر حرکت قطرات از نوک نازل تا هدف در مقایسـه با سـایر انواع نازل‌ها بیشـتر است. لذا، قطره آزاد شــده از بادبزن ۷۰ درجه‌ای مدت زمان بیشــتری در فضــا سـیر می‌کند. در این وصــغیت، می‌تواند در معرض بادبردگی قرار بگیرد. با افزایش حجم پــاشــش در نازل‌های بادبزنی تک بادبزنه و دو بادبزنه ۳۰۳۰، میزان پوشــش کاغذ حســاس به رطوبت با محلول پاشــش کلودینافوپ پروپارژیل افزایش یافت (۲۹). طی آزمایشی پیرامون تاثیر سرعت حرکت پهپاد سمپاش مجهز به نازل تک بادبزنه، که قبلاً بیان شــد که یکی از روش‌های تغییر دادن حجم پاشــش اســت، بر میزان نشــســت محلول پاشش بر روی کاغذ حساس به رطوبت گزارش شده اســت که با کاهش حجم پاشــش از ۱۵۱ به ۲۲ لیتر در هکتار، میزان خیس شدگی کاغذ از حدوداً ۶۰ به ۲۰ درصد کاهش یافت (۲۰).

در کاغذ شماره ۲ نتایج نشان داد که در هر سه نوع نازل، با افزایش شماره نازل/حجم پاشش سطح بیشتری از کاغذ خیس شد (شکل ۲). در شماره نازل‌های ۱۱۰۰۳ و به بعد در نازل‌های تک بادبزنه و دو بادبزنه ۲۰۲۰، بالاترین میزان خیساندن کاغذ (۱۰۰ درصدی) مشاهده شد. کمترین میزان خیس شدگی با نازل بادبزنی تک بادبزنه در شماره‌های ۱۱۰۰۱۵ و ۱۱۰۰۲ مشاهده شد (۱۹-۲۴ درصد). به طور کلی، نازل‌های دو بادبزنه در مقایسه با نازل تک بادبزنه در خیساندن کاغذ شماره ۲ موفق‌تر عمل کردند. در نازل تک بادبزنه، حرکت قطرات پاشش از نوک نازل نسبت به زمین به طور عمودی انجام می‌گیرد. لذا، قطرات نمی‌توانند برخورد موثری به این کاغذ داشته باشند. برعکس، در نازل‌های دو بادبزنه، یکی از بادبزن‌ها (بادبزن ۲۰ درجه‌ای در نازل دو بادبزنه ۲۰۲۰ و بادبزن ۷۰ درجه‌ای در نازل دو بادبزنه ۳۰۷۰) می‌تواند قطرات پاشش را به سمت کاغذ پرتاب کند که این عمل سبب نشست موثر آنها بر روی این کاغذ می‌شود. این موقعیت کاغذ حساس به رطوبت تقریباً شبیه‌ساز برگ عمودی در مرحله ۳ تا ۴ برگی علف‌های هرز باریک برگی مانند جودره است (شکل ۳). قبلاً، خیس شدگی حدوداً دو برابری کاغذ شماره ۲ به وسیله پنج نوع نازل دو بادبزنه را در مقایسه با پنج نوع نازل تک بادبزنه گزارش شده بود (۲).

در کاغذ شماره ۳، نتایج نشان داد که در دو نوع نازل دو بابزنه، با افزایش شماره نازل/حجم پاشش سطح بیشتری از کاغذ خیس شد (شکل ۲). در نازل تک بادبزنه، افزایش شماره نازل/حجم پاشش هیچ تاثیری بر میزان خیس‌شدگی این کاغذ با محلول پاشش نداشت. در واقع، این کاغذ با نازل تک بادبزنه اصلاً خیس نشد. این اتفاق به دلیل آن است که در نازل تک بادبزنه، حرکت قطرات پاشش از نوک نازل نسبت به زمین به طور عمودی انجام می‌گیرد. موقعیت این کاغذ شبیه پشت دیوار است که قطرات پاشش نمی‌توانند هیچ برخوردی به این کاغذ داشته باشند. نتایج مشابهی را علی‌وردی و احمدوند (۲) گزارش کرده‌اند. همچنین، آنها بیان کردند که در صورتی که وزش بادی در جریان باشد، کاغذ شماره ۳ می‌تواند تا حدودی با پنج نوع نازل تک بادبزنه خیس شود که میزان خیس‌شدگی این کاغذ رابطه مستقیمی با اندازه قطر قطرات داشته است. در آزمایشی، میزان نفوذ پاشش با انواع نازل‌های تک و دو بادبزنه به درون کانوپی را ارزیابی و گزارش شده است که نازل دو بادبزنه در مقایسه با نازل تک بادبزنه قادر است قطرات پاشش بیشتری را به درون کانوپی نفوذ دهند. نفوذ بیشتر پاشش به درون کانوپی می‌تواند قطرات پاشش را علف‌های هرز کوچکتر و در حال سبز شدن برساند و آنها را نیز هدف قرار دهد (۲۸).

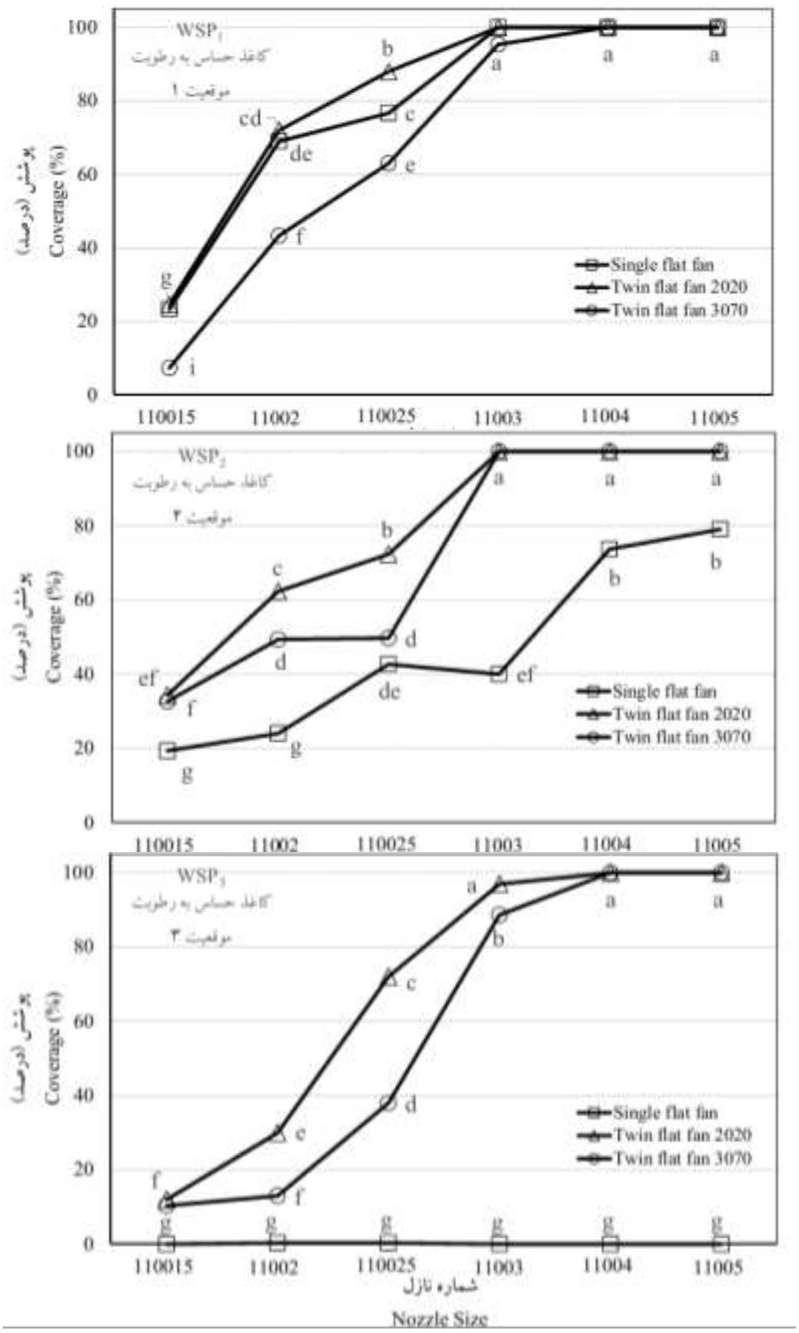
در بین نازل‌های دو بادبزنه، عملکرد نازل دو بادبزنه ۲۰۲۰ در خیساندن کاغذ شماره ۳ بهتر از نازل دو بادبزنه ۳۰۷۰ بود. این برتری با افزایش شماره نازل/حجم پاشش از بین رفت.

دُز-پاسخ علف‌کش

منحنی‌های پاسخ وزن خشک جودره به دُزهای مختلف هالوکسی فوپ-آر-متیل وقتی که با شماره‌های مختلف نازل‌های تک بادبزنه، دو بادبزنه ۲۰۲۰ و دو بادبزنه ۳۰۷۰ بکار برده شد به ترتیب در شکل ۳ نمایش داده شده است. همان طور که از این شکل‌ها پیداست، به طور کلی، با افزایش شماره نازل منحنی دُز-پاسخ به سمت راست تمایل پیدا کرده است که این نشان دهنده کاهش کارایی هالوکسی فوپ-آر-متیل در کنترل جودره می‌باشد.

نتایج نشان داد که کمترین مقدار ED_{50} (۹/۳۴ گرم ماده موثره در هکتار) در تیمار نازل دو بادبزنه ۲۰۲۰ با شماره ۱۱۰۰۱۵ بدست آمد. این تیمار به عنوان بهترین تیمار برای کاربرد هالوکسی‌فوپ-آر-متیل علیه جودره تشخیص داده شد. در حالی که بیشترین مقدار ED_{50} در تیمار نازل‌های تک بادبزنه دو بادبزنه ۳۰۷۰ هر دو با شماره ۱۱۰۰۵ به ترتیب با مقدار ۴۵/۴۲ و ۴۰/۹۴ گرم ماده موثره در هکتار بدست آمد.کارایی هالوکسی‌فوپ-آر-متیل علیه جودره وقتی با نازل دو بادبزنه ۲۰۲۰ با شماره ۱۱۰۰۱۵ بکار برده شد حدوداً ۴/۵ برابر بیشتر از کارایی آن وقتی با نازل‌های تک بادبزنه دو بادبزنه ۳۰۷۰ هر دو با شماره ۱۱۰۰۵ بکار برده شد بود (شکل ۴).

در تمامی انواع نازل‌ها، با افزایش شماره نازل/حجم پاشش، مقدار ED_{50} به طور معنی‌داری افزایش یافت. به طوری‌که در نازل تک بادبزنه، افزایش شماره نازل از ۱۱۰۰۱۵ به ۱۱۰۰۵ (یعنی افزایش حجم پاشش از ۱۵۰ به ۵۰۰ لیتر در هکتار) سبب افزایش مقدار ED_{50} از ۱۵/۹۲ به ۴۵/۴۲ گرم ماده موثره در هکتار شد (حدوداً ۶۵ درصد افزایش). در نازل دو بادبزنه ۲۰۲۰، افزایش شماره نازل از ۱۱۰۰۱۵ به ۱۱۰۰۵ سبب افزایش مقدار ED_{50} از ۹/۳۴ به ۱۸/۲۹ گرم ماده موثره در هکتار شد (حدوداً ۴۹ درصد افزایش). در نازل دو بادبزنه ۳۰۷۰، افزایش شماره نازل از ۱۱۰۰۱۵ به ۱۱۰۰۵ سبب افزایش مقدار ED_{50} از ۱۷/۵۶ به ۴۰/۹۴ گرم ماده موثره در هکتار شد (حدوداً ۵۷ درصد افزایش). بنابراین، براساس درصد تغییرات مذکور می‌توان چنین برداشت کرد که زمانی که از نازل تک بادبزنه استفاده شود، افزایش حجم پاشش اثر منفی بیشتری بر کارایی هالوکسی‌فوپ-آر-متیل علیه جودره دارد. همچنین، اثر نامطلوب حجم پاشش بالا با استفاده از نازل‌های دو بادبزنه بخصوص نازل دو بادبزنه ۲۰۲۰ می‌تواند تقلیل یابد.



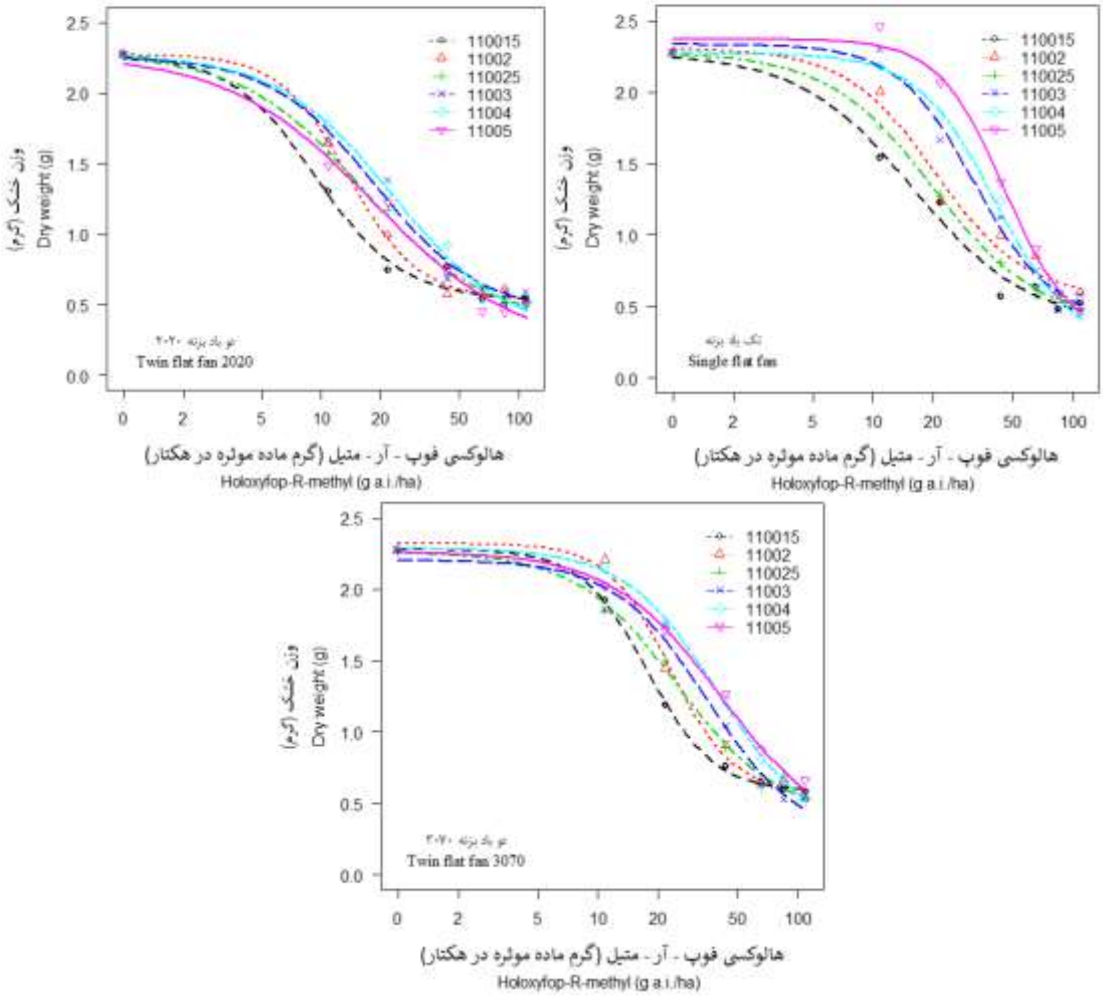
شکل ۲- تاثیر نوع و شماره نازل در میزان نشست پاشش (درصد) بر روی کاغذ حساس به رطوبت قرار گرفته در موقعیت‌هایی که در شکل ۱ به تصویر کشیده شده است

Figure 2- Effect of nozzle type and size on spray deposition (percentage) on moisture-sensitive paper located in the positions shown in Fig. 1.



شکل ۳- برگ‌های تقریباً قائم جودره در مرحله ۳ تا ۴ برگی

Figure 3- Almost vertical leaves of wild barley at the stage of 3 to 4 leaves



شکل ۳- پاسخ وزن خشک جودره به دُزهای مختلف هالوکسی فوپ-آر-متیل وقتی که با شماره‌های مختلف انواع نازل‌ها بکار برده شد

Figure 3- Response of dry weight of wild barley to different doses of haloxyfop-r-methyl when applied with different sizes of nozzle types

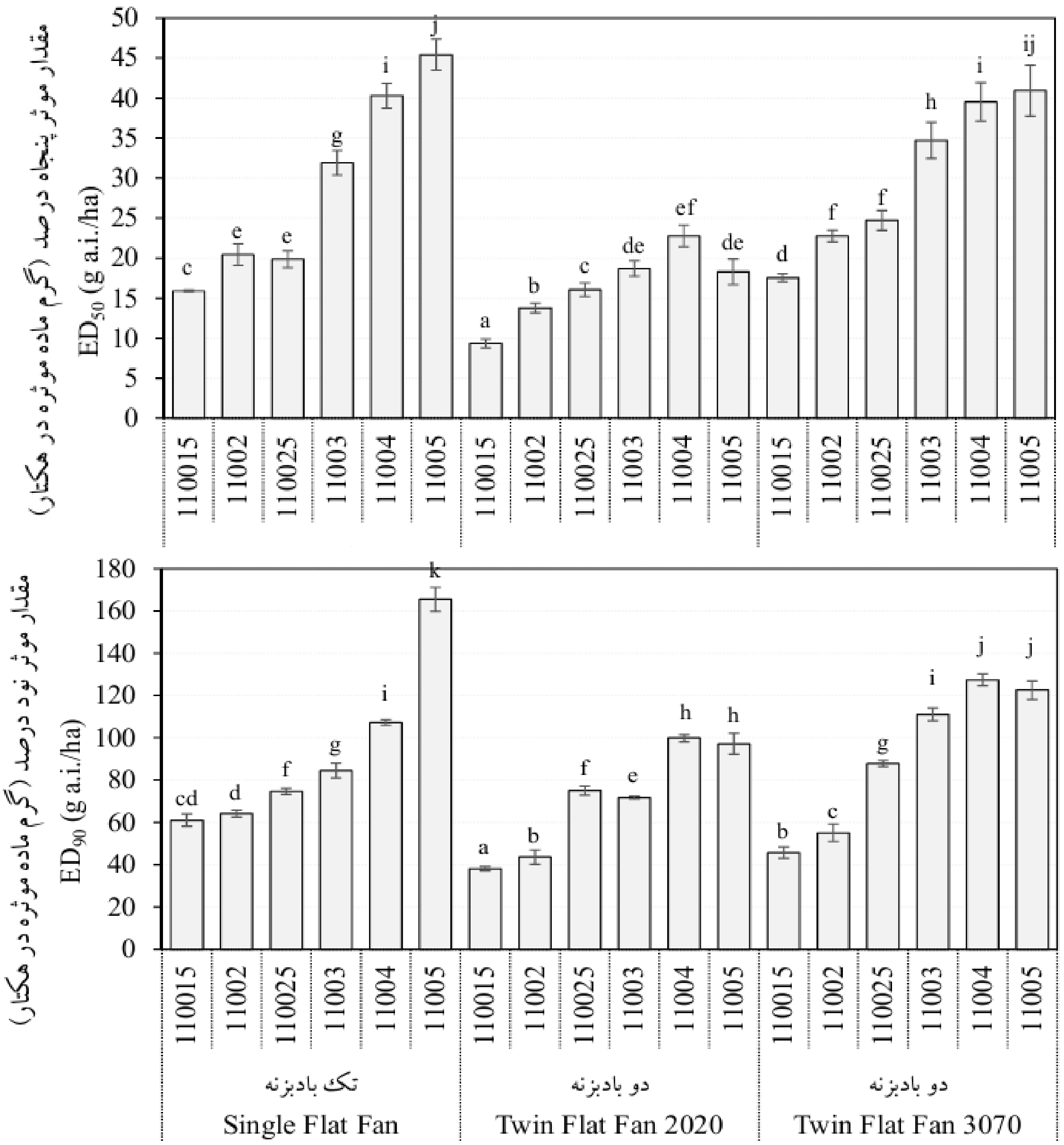
نتایج نشـان داد که کمترین مقدار ED_{90} (۳۸/۲۱ گرم ماده موثره در هکتار) در تیمار نازل دو بادبزنه ۲۰۲۰ با شـماره ۱۱۰۰۱۵ بدسـت آمد. بر این اسـاس نیز این تیمار به عنوان بهترین تیمار برای کاربرد هالوکسی‌فوپ-آر-متیل علیه جودره تشخیص داده شد. در حالی که

بیشترین مقدار ED_{90} در تیمار نازل‌های تک بادبزنه با شماره ۱۱۰۰۵ به ترتیب با مقدار ۱۶۵/۵ گرم ماده موثره در هکتار بدست آمد. بر این اساس نیز این تیمار به عنوان نامطلوب‌ترین تیمار برای کاربرد هالوکسی‌فوپ-آر-متیل علیه جودره تشخیص داده شد. کارایی هالوکسی‌فوپ-آر-متیل بکار رفته با نازل دو بادبزنه ۲۰۲۰ با شماره ۱۱۰۰۱۵ حدوداً ۴ برابر بیشتر از زمانی بود که با نازل‌های تک بادبزنه و دو بادبزنه ۳۰۷۰ هر دو با شماره ۱۱۰۰۵ بکار برده شده بود (شکل ۴).

در تمامی انواع نازل‌ها، با افزایش شماره نازل/حجم پاشش، مقدار ED_{90} به طور معنی‌داری افزایش یافت. به طوری‌که در نازل تک بادبزنه، افزایش شماره نازل از ۱۱۰۰۱۵ به ۱۱۰۰۵ سبب افزایش مقدار ED_{90} از ۶۱/۰۶ به ۱۶۵/۵ گرم ماده موثره در هکتار شد (حدوداً ۶۴ درصد افزایش). در نازل دو بادبزنه ۲۰۲۰، افزایش شماره نازل از ۱۱۰۰۱۵ به ۱۱۰۰۵ سبب افزایش مقدار ED_{90} از ۳۸/۲۱ به ۹۷/۲۴ گرم ماده موثره در هکتار شد (حدوداً ۵۹ درصد افزایش). در نازل دو بادبزنه ۳۰۷۰، افزایش شماره نازل از ۱۱۰۰۱۵ به ۱۱۰۰۵ سبب افزایش مقدار ED_{90} از ۴۵/۷ به ۱۲۲/۵۶ گرم ماده موثره در هکتار شد (حدوداً ۶۲ درصد افزایش). بنابراین، براساس درصد تغییرات مذکور می‌توان چنین برداشت کرد که زمانی که از نازل تک بادبزنه استفاده شود، افزایش حجم پاشش اثر منفی بیشتری بر کارایی هالوکسی‌فوپ-آر-متیل علیه جودره دارد. مطالعات قبلی در مورد رابطه حجم پاشش با کارایی علف‌کش‌های بازدارنده استیل کوآنزیم آ کربوکسیلاز، روابط مختلفی را گزارش کرده‌اند. در برخی مطالعات، افزایش حجم پاشش باعث کاهش کارایی علف‌کش شده است؛ برای مثال، سیتوکسیدیم (۲۷) و کلودینافوپ‌پروپارژیل (۱۵ و ۲۹). در برخی مطالعات، تغییر در حجم پاشش تاثیری بر کارایی علف‌کش نداشته است؛ برای مثال، فنوکساپروپ-پی-اتیل (۱۵)، فلوآزیفوپ-پی-بوتیل (۱۳). در برخی مطالعات، افزایش حجم پاشش باعث افزایش کارایی علف‌کش شده است؛ برای مثال، کویزالوفوپ-پی-اتیل، فومسافن (۳۸)، و سیکلوکسیدیم (۳). برخی محققان نیز گزارش کرده‌اند که تاثیر حجم پاشش بر کارایی علف‌کش به گونه علف‌هرز نیز بستگی دارد؛ برای مثال، کارایی هالوکسی‌فوپ-آر-متیل در کنترل سورگوم تحت تاثیر حجم پاشش قرار می‌گیرد ولی در کنترل دم‌روباهی زرد تحت تاثیر حجم پاشش قرار نمی‌گیرد (۹).

در آزمایش نشست پاشش محرز گردید که افزایش شماره نازل/حجم پاشش می‌تواند سطح بیشتری از کاغذهای حساس به رطوبت را خیس کند. در وهله اول انتظار بر این بود که چون سطح بیشتری از علف‌هرز نیز با افزایش شماره نازل خیس می‌شود، از اینرو، کارایی علف‌کش افزایش خواهد یافت. اما چنین نشد. کارایی علف‌کش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل علیه جودره با افزایش شماره نازل‌ها کاهش یافت. چند دلیل احتمالی برای کارایی بیشتر هالوکسی‌فوپ-آر-متیل زمانی که از حجم پاشش کمتر استفاده می‌شود وجود دارد. یک نازل با سوراخ خروجی ریزتر درصد بیشتری از قطرات کوچکتر تولید می‌کند که ممکن است کارایی علف‌کش را از طریق نشست و جذب بیشتر افزایش دهد. قطرات ریزتر ممکن است روی سطح برگ بهتر توزیع شوند؛ لذا، این امر می‌تواند منجر به جذب بیشتر در واحد زمان به دلیل نشست بهتر آنها شود. غلظت بیشتر علف‌کش در محلول پاشش ممکن است سبب افزایش کارایی علف‌کش شود به دلیل اینکه مولکول علف‌کش بیشتری در واحد حجم محلول می‌تواند جذب شود. محلول پاشش علف‌کش غلیظ‌تر همچنین شیب غلظت شدیدتری را بین محلول پاشش و برگ ایجاد کند که سبب نفوذ مقادیر بیشتری از مولکول علف‌کش شود. همچنین، این احتمال نیز وجود دارد که قطرات درشت‌تر به طور فیزیولوژیکی از طریق مرگ سلول‌های زیر محل برخورد قطره ایزوله شوند که این عمل می‌تواند منجر به کاهش جذب علف‌کش شود. وقتی مقدار برابری علف‌کش استفاده شود، قطرات ریزتر و غلیظ‌تر در مقایسه با قطرات درشت‌تر و رقیق‌تر سبب کنترل بهتر علف‌هرز می‌شوند (۹). اگرچه تعداد قطرات پاشش در اینچ مربع و درصد پوشش با افزایش حجم پاشش از ۲۰ تا ۴۰ لیتر در هکتار افزایش یافت، اما لزوماً منجر به کنترل شیمیایی بهتر علف‌های هرز نشد (۱۹).

وقتی از مقادیر ED_{50}ی شش شماره از هر نوع نازل میانگین‌گیری انجام گرفت، برای نازل‌های تک بادبزنه، دو بادبزنه ۲۰۲۰ و دوبادبزنه ۳۰۷۰ به ترتیب مقادیر ۲۹/۹۶، ۱۶/۴۸ و ۳۰/۰۲ بدست آمد. همچنین، وقتی از مقادیر ED_{90}ی شش شماره از هر نوع نازل میانگین‌گیری انجام گرفت، برای نازل‌های تک بادبزنه، دو بادبزنه ۲۰۲۰ و دوبادبزنه ۳۰۷۰ به ترتیب مقادیر۹۲/۸۷، ۷۰/۹۷ و ۹۱/۶۲ بدست آمد. این نتایج نشان می‌دهد که عملکرد نازل‌های مورد استفاده در این آزمایش به صورت نازل دو بادبزنه ۲۰۲۰ بیشتر از نازل تک بادبزنه و نازل تک بادبزنه دارای عملکردی برابر با نازل دو بادبزنه ۳۰۷۰ است. محققان قبلی بیان کرده‌اند که ایجاد دو پاشش غیر عمودی به وسیله نازل دو بادبزنه می‌تواند برخورد به صورت اریب قطرات پاشش به سطح برگ نسبتاً قائم علف‌های هرز باریک برگ را کاهش دهد. از این‌رو، پَرش قطرات پاشش از سطح برگ آنها به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. این در حالی است که وقتی باریک‌برگ‌کش‌ها با کمک نازل یک بادبزنه بکار برده شوند، قطرات پاشش که حرکتی عمود بر زمین دارند عمدتاً به صورت اریب به سطح برگ علف‌های هرز باریک برگ برخورد می‌کنند. از اینرو، به احتمال قوی تعداد زیادی از آنها از روی سطح برگ بر روی سطح خاک پرش کرده و هَدر می‌روند (۲۱). همچنین، در آزمایش نشست پاشش محرز گردید که نازل دو بادبزنه ۲۰۲۰ قادر بود کاغذهای شماره ۲ و ۳ که به ترتیب شبیه‌سازی از پشت و روی بوته علف‌هرز بود را در مسیر حرکت خود خیس نمایند (شکل ۲).



شکل ۴- دُز هالوکسی‌فوپ-آر-متیل لازم برای کاهش ۵۰ و ۹۰ درصدی وزن خشک جوده نسبت به شاهد وقتی که با شماره‌های مختلف انواع نازل‌ها بکار برده شد

تیمارهای دارای حرف مشترک از نظر آماری تفاوتی ندارند.

Figure 4- The dose of haloxyfop-r-methyl required to reduce the dry weight of wild barley by 50 and 90% compared to the control when used with different sizes of nozzle types

Treatments with a common letter are not statistically different.

مشـــاهده اخیر ما در تحقیقات قبلی نیز مشـــاهده شـــده بود. به طوری‌که نازل دو بادبزنه قادر بوده تا پشت و روی برگ قائم را به طور بسیار موثری خیس نماید (۱۱، ۲۲، ۳۱ و ۴۰). به همین خاطر، عملکرد نـازل‌هـای دو بـادبزنـه در مقـایســـه بـا نـازل تک بادبزنه در کاربرد باریک‌برگ‌کش‌ها بیشتر است. در آزمایش حاضر، نتایج بدست آمده با نازل دو بادبزنه متقارن (۲۰۲۰) در مقایسه با نازل تک بادبزنه موافق با نتـایج بـدســـت آمـده با علف‌کش‌های اتوفومیســـت + فن‌مدیفام + دس‌مدیفام (۳۱)، ســـتوکســـیدیم (۱) و کلودینافوپ‌پروپارژیل (۲) بود. مقدار ســیکلوکســیدیم لازم برای کاهش ۵۰ درصـدی وزن خشـک جودره بـه طور معنی‌داری بـا افزایش تعداد بادبزن کاهش می‌یابد (۳).

به طوری که از نظر کارایی علف‌کش، نازل سه بادبزنه بهتر از نازل دو بادبزنه و نازل دو بادبزنه نیز بهتر از نازل تک بادبزنه عمل کرد. با این وجود، عملکرد نازل تک بادبزنه با نازل دو بادبزنه نامتقارن (۳۰۷۰) در این آزمایش برابر بدست آمد که متناقض با نتایج تحقیقات قبلی است. علت اینکه در این دو نازل عملکرد برابر مشاهده شد اینست که نازل دو بادبزنه ۳۰۷۰ برای کاربرد علف‌کش‌ها زمانی که علف‌های هرزی در تراکم انبوه ظاهر شده باشند توصیه شده است. به همین دلیل، اگر عملکرد این دو نازل در شرایط تراکم بالای علف‌های هرز مورد مقایسه قرار گیرند، براساس کتابچه راهنمای این نوع نازل، احتمالاً عملکرد نازل دو بادبزنه ۳۰۷۰ بیشتر از نازل تک بادبزنه خواهد شد (۲۶).

نتیجه‌گیری

برای کنترل بهتر جودره به وسیله هالوکسی‌فوپ-آر-متیل نیاز به حجم پاشش پایین است. استفاده از حجم پاشش پایین علاوه کسب بهترین کارایی هالوکسی‌فوپ-آر-متیل علیه جودره می‌تواند در مصرف آب صرفه‌جویی ایجاد کند. در حال حاضر، نازل تک بادبزنه رایج‌ترین نوع نازلی است در دسترس کشاورزان ایرانی است. با توجه به اتکای بالای کشاورزان به استفاده از باریک‌برگ‌کش‌ها در کشور و نیز کارآمدی نازل دو بادبزنه در مقایسه با نازل تک بادبزنه، ترویج کشاورزان برای استفاده از نازل دو بادبزنه می‌تواند گام مهم در کاهش مصرف باریک‌برگ‌کش‌ها در مزارع و متعاقباً کاهش آلودگی‌های محیط زیستی باشد.

منابع

1- Aliverdi A. 2018. The selection of proper nozzle for spraying sethoxydim at two wind speeds to control winter wild oat (*Avena sterilis* ssp. *ludoviciana*). Journal of Plant Protection 32(2): 299–306. (In Persian with English abstract)
2- Aliverdi A., and Ahmadvand G. 2018. The effect of nozzle type on clodinafop-propargyl potency against winter wild oat. Crop Protection 114: 113–119.
3- Aliverdi A., and Karami S. 2019. The effect of type and size of single, twin, and triplet flat fan nozzles on the activity of cycloxydim against wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch.). Journal of Plant Protection 33(4): 465–474. (In Persian with English abstract)
4- Aliverdi A., and Sharifi M. 2020. Interaction effect between nozzle type and application time of day on the efficacy of paraquat to control velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medicus.). Journal of Plant Protection 34(1): 113–23. (In Persian with English abstract)
5- Aliverdi A., and Zarei M. 2020. Forward angled spray: a method for improving the efficacy of herbicides. Journal Plant Protection Research 60(3): 275–283.
6- American Society of Agricultural Engineers. 2009. Spray nozzle classification by droplet spectra. S572.1, 4.
7- Berger S.T., Dobrow M.H., Ferrell J.A., and Webster T.M. 2014. Influence of carrier volume and nozzle selection on palmer amaranth control. Peanut Science 41(2): 120–123.
8- Brown L., Soltani N., Shropshire C., Spieser H., and Sikkema P.H. 2007. Efficacy of four corn (*Zea mays* L.) herbicides when applied with flat fan and air induction nozzles. Weed Biology and Management 7(1): 55–61.
9- Buhler D.D., and Burnside O.C. 1984. Effect of application factors on postemergence phytotoxicity of fluazifop-butyl, haloxyfop-methyl, and sethoxydim. Weed Science 32(5): 574–583.
10- Butts T.R., Samples C.A., Franca L.X., Dodds D.M., Reynolds D.B., Adams J.W., Zollinger R.K., Howatt K.A., Fritz B.K., Clint H.W., and Kruger G.R. 2018. Spray droplet size and carrier volume effect on dicamba and glufosinate efficacy. Pest Management Science 74(9): 2020–2029.
11- Combellack J.H., Western N.M., and Richardson R.G. 1996. A comparison of the drift potential of a novel twin fluid nozzle with conventional low volume flat fan nozzles when using a range of adjuvants. Crop Protection 15(2): 147–152.
12- Creech C.F., Henry R.S., Fritz B.K., and Kruger G.R. 2015a. Influence of herbicide active ingredient, nozzle type, orifice size, spray pressure, and carrier volume rate on spray droplet size characteristics. Weed Technology 29(2): 298–310.
13- Creech C.F., Henry R.S., Werle R., Sandell L.D., Hewitt A.J., and Kruger G.R. 2015b. Performance of post-emergent herbicides applied at different carrier volume rates. Weed Technology 29(3): 611–624.
14- Ferreira M.C., Machado-Neto J.G., and Matuo T. 1998. Reduction in the rate and spray volume in night-time application of post-emergence herbicides on soybean crop. Planta Daninha 16(1): 25–36.
15- Gauvrit C., and Lamrani T. 2008. Influence of application volume on the efficacy of clodinafop-propargyl and fenoxaprop-P-ethyl on oats. Weed Research 48(1): 78–84.
16- Green J.M. 1996. Interaction of surfactant dose and spray volume on rimsulfuron activity. Weed Technology 10(3): 508–511.
17- Grichar W.J., and Dotray P.A. 2015. Influence of spray tip and spray volume on the efficacy of imazapic and imazethapyr on selected weed species. American Journal Experimental Agriculture 8(2): 75–86.

18- Guoxiong C., Tamar K., Fahima T., Zhang F., and Koral A.B. 2004. Differential patterns of germination and desiccation tolerance of mesic and xeric wild barley (*Hordeum spontaneum*) in Israel. Journal of Arid Environments 56(1): 95–105.
19- Hembree K. 2012. Effects of spray coverage and nozzle selection on weed control. CWSS Conference Santa Barbara, CA January 24.
20- Hunter J.E., Gannon T.W., Richardson R.J., Yelverton F.H., and Leon R.G. 2019. Coverage and drift potential associated with nozzle and speed selection for herbicide applications using an unmanned aerial sprayer. Weed Technology 34(2): 235–240.
21- Jensen P.K. 2012. Increasing efficacy of graminicides with a forward angled spray. Crop Protection 32: 17–23.
22- Jensen P.K., Jorgensen L.N., and Kirknel E. 2001. Biological efficacy of herbicides and fungicides applied with low-drift and twin-fluid nozzles. Crop Protection 20(1): 57–64.
23- Knoche M. 1994. Effect of droplet size and carrier volume on performance of foliage-applied herbicides. Crop Protection 13(3): 163–178.
24- Kogan M., and Zuniga M. 2001. Dew and spray volume effect on glyphosate efficacy. Weed Technology 15(3): 590–593.
25- Lesnik M., Kramberger B., and Vajs S. 2012. The effects of drift-reducing nozzles on herbicide efficacy and maize (*Zea mays* L.) yield. Zemdirbyste 99(4): 371–378.
26- MagnoJet. 2015. Product Catalogue. Super Turbo flat fan nozzle and Air Induction Super Turbo flat fan nozzle. http://www.magnojet.com.br/produtos
27- McMullan P.M. 1995. Effect of spray volume, spray pressure and adjuvant volume on efficacy of sethoxydim and fenoxaprop-p-ethyl. Crop Protection 14(7): 549–554.
28- Meyer C.J., Norsworthy J.K., Kruger G.R., and Barber T.L. 2016. Effect of nozzle selection and spray volume on droplet size and efficacy of Engenia tank-mix combinations. Weed Technology 30(2): 377–390.
29- Naser N., and Aliverdi A. 2020. Effect of nozzle type and spray volume on clodinafop-propargyl efficacy in winter wild oat (*Avena sterilis* subsp. *ludoviciana* Durieu.) control. Iranian Journal of Weed Science 16(1): 37–48. (In Persian with English abstract)
30- Nelson K.A., Renner K.A., and Penner D. 2002. Yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) control and tuber yield with glyphosate and glufosinate. Weed Technology 16(2): 360–365.
31- Nordbo E., Steermen J.K., and Kitknelt E. 1995. Deposition and efficiency of herbicide sprays in sugar beet with twin-fluid, low-drift and conventional hydraulic nozzles. Crop Protection 14(3): 237–240.
32- Patten K. 2002. Smooth cordgrass (*Spartina alterniflora*) control with imazapyr. Weed Technology 16(4): 826–832.
33- Ramsdale B.K., and Messersmith C.G. 2001. Drift-reducing nozzle effects on herbicide performance. Weed Technology 15(3): 453–460.
34- Ramsdale B.K., Messersmith C.G., and Nalewaja J.D., 2003. Spray volume, formulation, ammonium sulfate, and nozzle effects on glyphosate efficacy. Weed Technology 17(3): 589–598.
35- Ritz C., Baty F., Streibig J.C., and Gerhard D. 2015. Dose-response analysis using R. PLoS One 10: e0146021.
36- Schumacher C.E., and Hatterman-Valenti H.M. 2007. Effect of dose and spray volume on early-season broadleaved weed control in *Allium* using herbicides. Crop Protection 26(8): 1178–1185.
37- Shaw D.R., Morris W.H., Webster E.P., and Smith D.B. 2000. Effects of spray volume and droplet size on herbicide deposition and common cocklebur (*Xanthium strumarium*) control. Weed Technology 14(2): 321–326.
38- Sikkema P.H., Brown L., Shropshire C., Spieser H., and Soltani N. 2008. Flat fan and air induction nozzles affect soybean herbicide efficacy. Weed Biology and Management 8(1): 31–38.
39- Skuterud R., Bjugstad N., Tyldum A., and Terresen K.S. 1998. Effect of herbicides applied at different times of the day. Crop Protection 17(1): 41–46,
40- Vallet A., and Tinet C. 2013. Characteristics of droplets from single and twin jet air induction nozzles: A preliminary investigation. Crop Protection 48:63–68.
41- Zhou J., Tao B., and Messersmith C.G. 2006. Soil dust reduces glyphosate efficacy. Weed Science 54(6): 1132–1136.

Journal of Plant Protection
Vol. 35, No. 2, Summer 2021, P. 265-278

نشریه حفاظت گیاهان (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، ص. ۲۷۸-۲۶۵

The Effect of Spray Pattern and Volume on Haloxyfop-r-methyl Efficacy against Wild Barley (*Hordeum spontaneum*)

A. Aliverdi[1*]- S.M. Borghei [2]

Received: 19-01-2021
Accepted: 15-05-2021

Introduction: Herbicides should be sprayed on weeds after diluting in water. Since the spray volume can affect the efficacy of herbicides; therefore, selecting an appropriate spray volume has always been considered a simple, inexpensive and available method to optimize the efficacy of herbicides. Changing the sprayer speed and the nozzle size are two possible methods to adjust the spray volume. If a very low or high spray volume is required to achieve optimal herbicide efficacy, the applicability of the first method will be problematic. For this reason, the method of changing the nozzle size always seems to be more feasible.. When a graminicide is sprayed with a single flat fan nozzle, which is currently the most common type of nozzle available to most Iranian farmers, the spray droplets which move perpendicular to the ground are mostly oblique to the leaf surface of the grass, having erect leaves. Hence, it is likely that a large number of the spray droplets bounced from the leaf surface to the soil. A twin flat fan nozzle can create two non-vertical sprays, reducing the possibility of impacting obliquely the spray droplets to the leaf surface. Therefore, the bouncing of spray droplets from the leaf surface is significantly reduced. To date, the efficacy of twin symmetrical and asymmetrical flat fan nozzles has not been compared. On the other hand, the effect of spray volume on haloxyfop-r-methyl efficacy against wild barley has not been evaluated. Therefore, this experiment was intended to fill the gaps mentioned in science.

Materials and Methods: To compare the efficiency of single, twin symmetrical and twin asymmetrical flat fan nozzles under different spray volumes, a dose-response experiment was performed in the Research Greenhouse of Bu-Ali Sina University. In this experiment, seven doses of haloxyfop-r-methyl (0, 10.8, 21.6, 43.2, 64.8, 84.4 and 108 g a.i. ha^{-1}) were used using three types of nozzles (single flat fan, twin flat fan 2020 and twin flat fan 3070) in six sizes of them (110015, 11002, 110025, 11003, 11004 and 11005, which create the spray volumes of 150, 200, 250, 300, 400 and 500 L ha^{-1}, respectively) were sprayed on wild barley at a three-leaf stage. Simultaneously with spraying 108 g a.i. ha^{-1}, another experiment was performed as a factorial in a completely randomized design. In this experiment, the amount of spray settling from three types of nozzles in six sizes of on moisture-sensitive papers was evaluated in three situations. Paper No. 1 was mounted horizontally on the ground and papers No. 2 and 3 were mounted vertically facing the back and back of the nozzle, respectively.

Results and Discussion: In paper No. 1, in all types of nozzles, more surface of the paper was wetted by increasing the nozzle size (spray volume). In all types of nozzles at 11003, 11004 and 11005, the highest wetting rate was provided (100%). The lowest wetting rate was obtained with twin flat fan 3070 at 110015 (7.3%). In paper No. 2, in all types of nozzles, more surface of the paper was wetted by increasing the nozzle size. The highest wetting rate (100%) was observed with single flat fan and twin flat fan 2020 nozzles at 11003, 11004 and 11005. The lowest wetting rate (24-19%) was observed with single flat fan nozzle at 110015 and 11002. In paper No. 3, in two twin flat fan nozzles, more surface of the paper was wetted by increasing the nozzle size. A single flat-fan nozzle could not wet the paper at all. In general, the performance of the nozzles used in this experiment is twin flat fan 2020 > single flat fan = twin flat fan 3070. In all types of nozzles, with increasing the size of nozzles (spray volume), the rate of haloxyfop-r-methyl is required to reduce 50 and 90% of the dry weight of wild barley (ED_{50} and ED_{90}) increased significantly, indicating a decrease in the efficacy of haloxyfop-r-methyl against wild barley. As the best treatment, the lowest values of ED_{50} and ED_{90}, which were equal to 9.34 and 38.21 g a.i. ha^{-1}, respectively, were obtained with twin flat fan 2020 at 110015. Increased efficacy of haloxyfop-r-methyl when spray volume was reduced can be explained as follows small size nozzles create a greater small droplet. Smaller droplets may give better spray retention over the leaf surface, resulting in increased efficacy of haloxyfop-r-methyl. In low spray volume, the higher concentration of herbicide in the spray solution may create a greater concentration gradient between the spray solution and leaf, increasing the diffusion of herbicide into the leaf.

Conclusion: Although the spray coverage increased with increasing spray volume for haloxyfop-r-methyl, it has an adverse effect on its efficacy. Therefore, smaller and more concentration droplets resulted in greater control of wild barley with haloxyfop-r-methyl than did larger and more dilution droplets.

---

1 and 2- Assistant Professor in Weed Science and Master of Science in Agrothenology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: a.aliverdi@basu.ac.ir)
DOI: 10.22067/jpp.2021.67963.1003

Keywords: Droplet size, Graminicide, Nozzle size, Spray retention